

# 直流き電回路における保護線を用いた高抵抗地絡検出手法

電力技術研究部 き電研究室

主任研究員 森本 大観

## 1. はじめに

直流き電回路において、飛来物や雷撃等によって電車線の絶縁が破壊して高抵抗地絡が生じると、変電所で電流の大きさや変化量を監視する従来システムでは検知することができず、電車線設備が大きく損傷する。そこで、沿線に保護線を新規に設けて電車線支持物の電位上昇を変電所に伝えることで高抵抗地絡を迅速に検知する手法を開発し、現地での人工故障試験等によって検知システムの有効性を確認したので紹介する。

## 2. 検討対象の直流高抵抗地絡検出システム

検討対象とする直流き電回路用の高抵抗地絡検出システムを図1に示す。変電所間の沿線全長に保護線を新設し、支持物への地絡時に支持物の対地電位上昇を「保護線用素子」を用いて保護線へ伝達する。区間両端の変電所において、保護線の引き込み箇所に避雷器（直流変電所用）を設けて雷サージを制限し、 $1k\Omega$ 程度の抵抗器（保護線用抵抗器）を経て帰線へ接続する。そして、保護線・帰線間の電圧を監視する「保護線電圧継電器」を設け、これが動作したときに、き電用直流高速度遮断器を開放するものである。

地絡箇所の支持物（以下、地絡柱という）には、き電線の対地電位からアーク電圧300V（標準値）を減じた対地電位が生じる。また、地絡故障ではレール特性抵抗を経て地絡電流が整流器負極に戻るため、変電所の帰線の対地電位は一般に負となる。この電位差によって保護線用素子が導通し、保護線に電位を生じさせる。保護線用素子に関してこの電流方向および電圧印加方向を順方向と定義する。

一方、隣接柱の保護線用素子には逆方向の電圧が印加されるが、素子に逆阻止特性を持たせ、保護線の電位を隣接柱には伝えないようにして、地絡柱以外の複数箇所の柱に通電することによる保護線電位の低下や地絡事故の波及を避ける。

## 3. 保護線用素子の開発

図1のシステムの成立には、以下の要件を満たす保護線用素子が必要である。

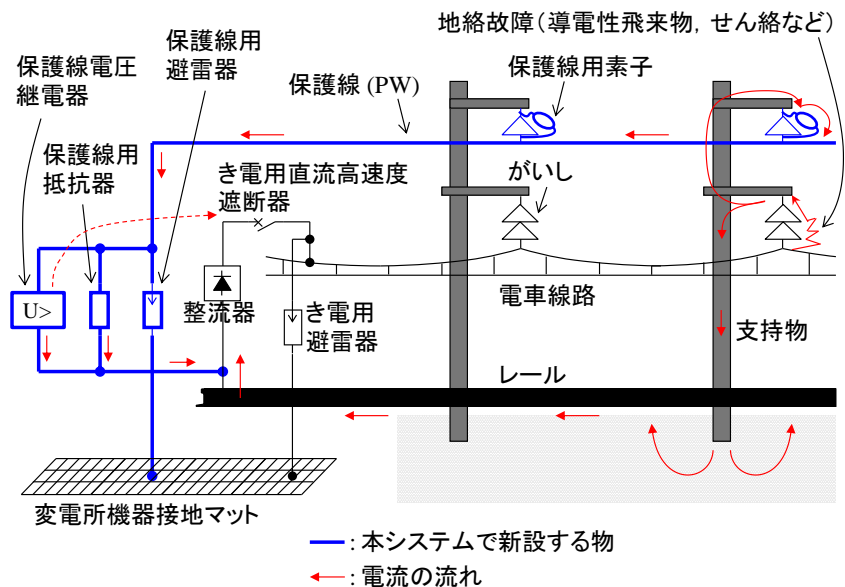


図1 保護線による直流高抵抗地絡検出システム

- (1) 地絡箇所の保護線用素子は、地絡があるとき、確実に導通する。
- (2) 地絡発生時に保護線用素子に通過する直流電流は、区間両端の変電所に設ける保護線用抵抗器 (1kΩ程度) によって制限されることを前提とする。これにより、素子の直流電流破壊耐量を製作可能な程度にする。
- (3) 電車線電圧が最低値の場合でも、アーク電圧と保護線用素子の電圧降下を経て保護線に生じる電圧で、変電所の保護線電圧継電器が動作できる必要がある。
- (4) 地絡柱でない箇所の保護線用素子は、保護線に直流電圧が印加されても導通しない。
- (5) 通常の列車運転によって変電所の帰線に生じる直流電位では、保護線用素子は導通せず、保護線電圧継電器も動作しない。
- (6) 保護線用素子は屋外に設置されるため、耐環境性と、雷サージ電圧・電流を考慮する必要がある。
- (7) 素子は沿線の全長にわたって多数必要となるため、廉価で入手性の良い汎用部品で構成する。

これらに基づき、保護線用素子は、図2に示す酸化亜鉛バリスタとダイオードの組み合わせとした。一例として直流1500Vき電回路における使用部品定格設定を検討したところ、バリスタ V1 と V2 の動作開始電圧 ( $V_{1mA}$ ) をそれぞれ390V と 1800V、ダイオードは直流定格電流 3A 程度・逆耐圧 4800V 以上に選定するのが適当という結論を得た。なお、直流 750V ないし 600V き電回路への適用も、設計数値を変更することにより原理的には対応可能である。

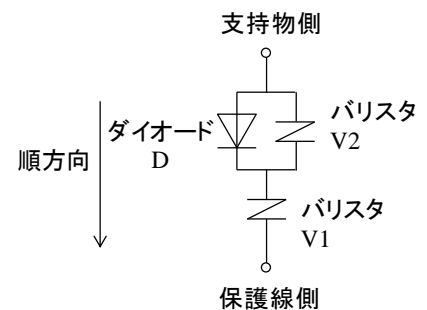


図2 保護線用素子の基本構成

#### 4. 直流動作に関する基礎実験

鉄道総研構内の実験棟において、提案するシステムを模擬した図3の回路を構成し、通電試験を行った。使用した保護線用素子の外観を図4に示す。バリスタ V1 と V2 の  $V_{1mA}$  はそれぞれ390V と 1800V である。ただし、本実験ではダイオードの耐圧を直流動作試験に必要な最低限とし、また、地絡柱相当箇所の保護線用素子はバリスタ V2 とダイオードを省略している。保護線

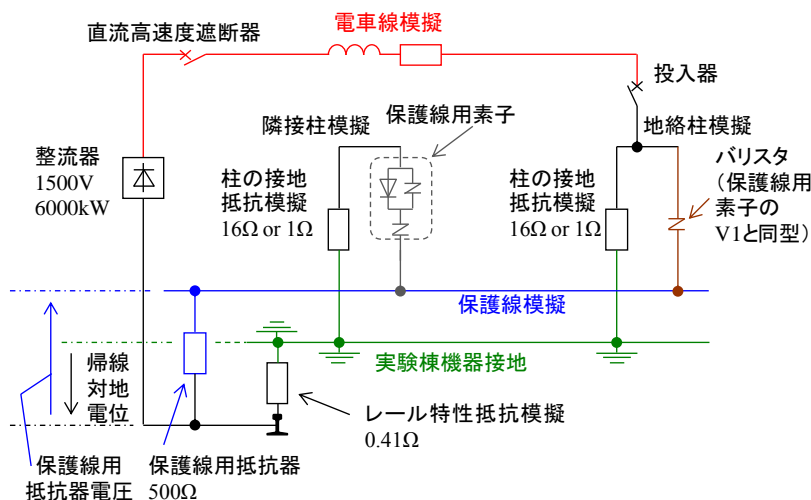


図3 直流動作試験（基礎実験）回路

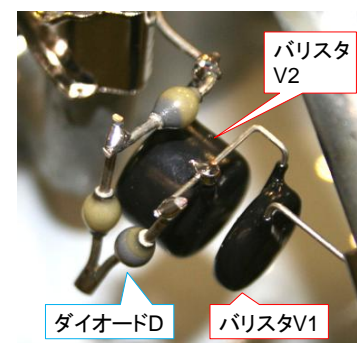


図4 直流動作試験に用いた保護線用素子（隣接柱相当位置）

用抵抗器は、区間両端の変電所に各々1kΩを設けるのと同等になるように500Ωとした。

測定結果を図5に示す。電化柱（地絡柱、隣接柱）の接地抵抗に相当する抵抗器は、コンクリート柱を想定した16Ωと、鉄筋接地方式としては比較的接地抵抗が高い場合を想定した1Ωの2通りで実験したが、どちらの想定でも、地絡柱のバリスタは通電により短絡モード破壊となったが破裂等は生じず、かつ、隣接柱の素子には電流が流れず損傷もしないことを確認した。これにより、支持物への地絡故障を安定して検出できることの見通しを得た。

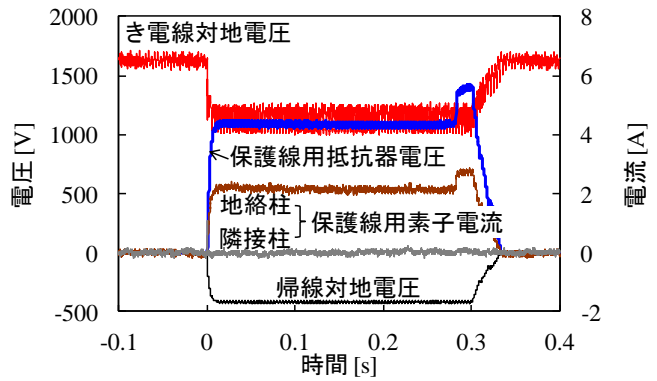


図5 直流動作に関する基礎実験結果  
(支持物接地抵抗1Ω 模擬時)

### 5. 現地試験による検証

本システムの検証のため、保護線用素子と保護線電圧継電器を用いて、現地営業線において模擬地絡試験を行った。

図6に試験回路を示す。試験系統はAき電区分所・B駅・C変電所間の複線10.3kmの区間である。下りき電線を保護線として使用することで保護線方式の模擬回路を構成した。電源にはC変電所の直流1500V整流器を使用し、故障発生後のき電用遮断器開放は変電所直接運転による手動操作によった。地絡故障の模擬は、予めS状ホーン（間隙長4.5mm）に家庭用アルミ箔の小片を介在させておき、投入器（交流6.6kV系統用汎用真空遮断器を使用）の投入で通電を開始してアルミ箔を焼損させることとした。保護線用素子は図7のものを使用した。

保護線用抵抗器はAき電区分所・C変電所とも1200Ωとした。B駅構内故障点において柱の接地抵抗を模擬する抵抗器は、試験で用いる既設接地電極（電車線路避雷器用）に流す電流を制限して試験を安全に遂行することを重視して300Ωとした。

投入器の投入直後、故障点ではアルミ箔が焼損してS状ホーンの極間がアークで導通状態となり（図8）、保護線用素子が導通した。アークがS状ホーン上を動き回るためアーク電圧が変化

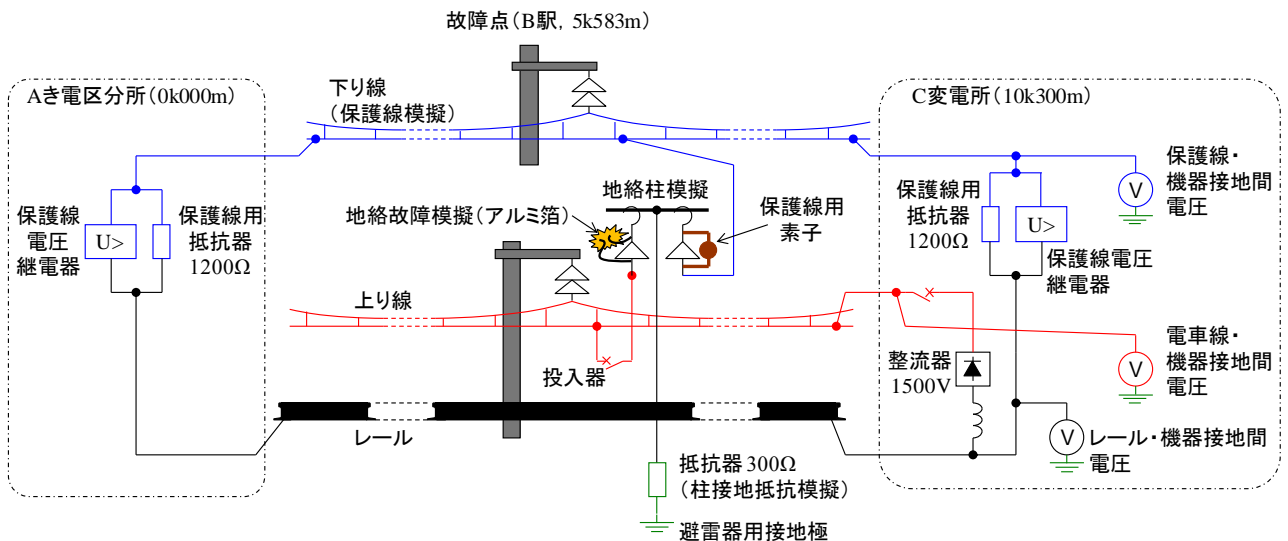


図6 現地模擬地絡試験回路

し、その結果保護線電圧も変動するが、変電所・き電区分所に仮設した保護線電圧継電器はすべての試番で遅滞なく動作した(図9)。これにより、保護線方式によって高抵抗地絡が検出できることを確認した。なお、通電後の保護線用素子はバリスタが短絡モードで破壊していたが、外観は若干の変色がある程度で破裂等はなかった。

## 6. 保護線用素子の雷インパルス電流への対応

保護線用素子は屋外に設置されることを想定しなければならない。このため、導入・保全コストの面から現実的な範囲で、保護線用素子の雷インパルス電流破壊耐量の向上を検討した。

バリスタを破壊耐量の大きいものに変更するとともに、ダイオードを順方向に流れる雷インパルス電流への対応は、図10に示すようにダイオードと直列に抵抗器を挿入し、順方向電圧降下を大きくして過大な順方向雷インパルス電流をバリスタ V2 に分流させる方法を考案した。これらの改良により、順方向・逆方向それぞれ標準雷インパルス電流(8/20  $\mu$ s) 10kA に耐える保護線用素子を得た。

## 7. まとめ

直流き電回路の高抵抗地絡故障を確実に検出する方法として、保護線を新設し、保護線用素子を用いて支持物の電位上昇を保護線に伝えることにより地絡を検出するシステムを開発した。現地試験によってシステム構成を検証するとともに、保護線に生じ得る雷サージに現実的な範囲で対処した保護線用素子を作成した。

本システムは主に明かり区間本線への適用を意図しており、様々な原因の高抵抗地絡故障を検出可能である。実用化に際しては、保護線の概念の普及、保護線の敷設に関する施工基準、保護線用素子の取り付け構造、保全方法などを具体化していくことが必要と考えている。



図7 現地模擬地絡試験で使用した試作保護線用素子



図8 現地試験状況

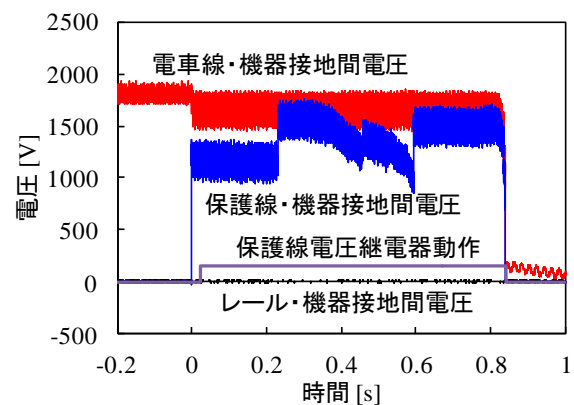


図9 現地試験結果(変電所測定)

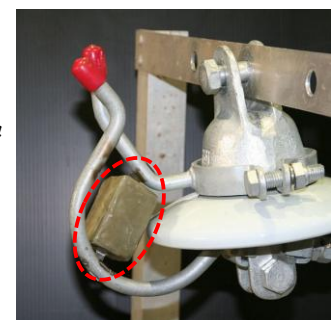
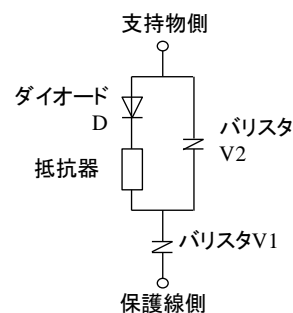


図10 破壊耐量を向上した試作保護線用素子の構成と外観